

УДК: 004.056.5:519.17 (045)

Мартынова О.П., Баранов В.Л.

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ В КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ

От методов маршрутизации зависит эффективность функционирования компьютерной сети, качество обслуживания и информационная безопасность её пользователей. Современные информационные технологии требуют комплексного решения задач повышения эффективности передачи информации и обеспечения информационной безопасности пользователей компьютерных сетей.

Анализ последних исследований и публикаций показал, что обычно эти задачи рассматриваются раздельно без учета их тесной взаимосвязи. Задача повышения качества обслуживания в компьютерных сетях решается путем выполнения ряда требований, которые должны выполняться при передаче пакетов от источника адресату [1].

Если ввести количественную оценку выполнения каждого требования в виде частного критерия качества, то задача повышения качества обслуживания пользователей компьютерных сетей относится к классу задач многокритериальной оптимизации.

Если рассматривать только задачу повышения информационной безопасности пользователей компьютерных сетей без учета качества их обслуживания, то задача также сводится к задаче многокритериальной оптимизации, но с другим набором частных критериев качества [1]. Действительно, угрозы противника можно характеризовать количеством атак на канал передачи информации. Другим частным критерием качества можно оценивать риски потери информации и её модификации. Третьим частным критерием качества можно учитывать внешние воздействия на канал передачи информации. Следует отметить, что частный критерий качества, оценивающий надежность передачи информации по каналам связи, влияет как на качество обслуживания сети, так и информационную безопасность её пользователей. Поэтому надежность передачи информации может учитываться четвертым частным критерием качества.

Объединение задач повышения качества обслуживания и информационной безопасности пользователей компьютерных сетей в рамках одной многокритериальной задачи с множеством частных критериев, учитывающих частные критерии качества обслуживания и информационной безопасности, сталкивается с принципиальной проблемой снижения чувствительности общего интегрального критерия качества к изменению каждого частного критерия качества. Выясним причины возникновения этой проблемы. Без потери общности считаем, что качество обслуживания и уровень информационной безопасности пользователя оценивается  $n$  минимизируемыми критериями качества  $I_1, I_2, \dots, I_n$ . Задаем предельно допустимыми значениями частных критериев качества  $I_{1m}, I_{2m}, \dots, I_{nm}$  на основании технических характеристик каналов передачи информации, требований к качеству обслуживания и уровню информационной безопасности пользователей компьютерной сети.

Формируем систему относительных частных критериев качества  $I_1/I_{1m}, I_2/I_{2m}, \dots, I_n/I_{nm}$ . Свернем систему относительных частных критериев качества в общий интегральный критерий качества в виде линейной свертки частных критериев качества с весовыми коэффициентами:

$$I = \sum_{i=1}^n \alpha_i \frac{I_i}{I_{im}}, \quad (1)$$

где  $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1, \alpha_i \geq 0$  – весовые коэффициенты.

Предположим, что все относительные критерии качества равнозначны и зададим одинаковые весовые коэффициенты

$$\alpha_i = \frac{1}{n}. \quad (2)$$

Из анализа выражения (2) следует, что при  $n \rightarrow \infty, \alpha_i \rightarrow 0$ . Другими словами, влияние изменения любого относительного частного критерия качества на общий интегральный критерий качества (1) уменьшается с ростом количества частных критериев качества.

Цель работы заключается в повышении чувствительности общего интегрального критерия качества к изменениям частных критериев качества при значительном их количестве.

Поставленную задачу решим на математической модели компьютерной сети в виде графа, вершины которого моделируют узлы-источники и узлы-приемники информации. Направленным ветвям (ребрам) графа сопоставим каналы передачи информации между узлом-источником и узлом-приемником. Ветвям графа присваивается вес (длина), который характеризует качество обслуживания и уровень защищенности моделируемого канала передачи информации. Существует множество методов свертки частных критериев качества в общий интегральный критерий качества, на основе которого присваивается вес ветвям графа, моделирующего компьютерную сеть.

В данной работе для повышения чувствительности обобщенного критерия качества применим двухуровневую иерархическую структуру критериев качества, которая формируется на основании вложенных скалярных свертки по нелинейным схемам компромиссов [2, 3]. Из  $n$  критериев качества сформируем две группы качества. В первую группу критериев качества включим  $n_1$  критериев качества, которые характеризуют качество обслуживания пользователей компьютерной сети. Все критерии качества, которые оценивают уровень информационной безопасности пользователей компьютерной сети отнесем ко второй группе из  $n_2$  критериев качества. На первом уровне иерархии критериев качества сформируем обобщенный критерий качества  $I_q$ , характеризующий качество обслуживания пользователей компьютерной сети, и обобщенный критерий качества  $I_r$ , оценивающий уровень рисков потери информации и ее модификации в компьютерной сети, согласно скалярным сверткам по нелинейным схемам компромиссов [3]:

$$I_q = 1 - \left[ \sum_{i=1}^{n_1} \frac{\alpha_{1i}}{1 - \frac{I_{1i}}{I_{lim}}} \right]^{-1}, \quad \alpha_{1i} \geq 0, \quad \sum_{i=1}^{n_1} \alpha_{1i} = 1, \quad (3)$$

$$I_r = 1 - \left[ \sum_{j=1}^{n_2} \frac{\alpha_{2j}}{1 - \frac{I_{2j}}{I_{2jm}}} \right]^{-1}, \quad \alpha_{2j} \geq 0, \quad \sum_{j=1}^{n_2} \alpha_{2j} = 1, \quad (4)$$

где  $I_{1i}$  –  $i$ -й частный критерий качества в первой группе,

$I_{lim}$  – предельнодопустимое значение частного критерия качества  $I_{1i}$ ,

$I_{2j}$  –  $j$ -й частный критерий качества во второй группе,

$I_{2jm}$  – предельнодопустимое значение частного критерия качества  $I_{2j}$ ,  $\alpha_{1i}$  и

$\alpha_{2j}$  – весовые коэффициенты.

Предполагается, что все частные критерии качества в обеих группах минимизируются и изменяются в пределах ограничений:

$$0 \leq I_{1i} \leq I_{lim}, \quad i = \overline{1, n_1}, \quad (5)$$

$$0 \leq I_{2j} \leq I_{2jm}, \quad j = \overline{1, n_2}. \quad (6)$$

Анализ выражений (3), (4) с учетом ограничений (5), (6) показывает, что обобщенные критерии качества  $I_q$  и  $I_r$  изменяются в пределах:

$$0 \leq I_q \leq 1, \quad (7)$$

$$0 \leq I_r \leq 1. \quad (8)$$

Обобщенные критерии  $I_q$  и  $I_r$  также являются минимизируемыми. Следует иметь в виду, что максимальному качеству обслуживания пользователей компьютерной сети соответствует значение  $I_q = 0$ , а отсутствию рисков потери информации и ее модификации в компьютерной сети соответствует значение  $I_r = 0$ . Снижение качества обслуживания пользователей

компьютерной сети и появление рисков потери информации и ее модификации приводит к соответствующему увеличению значений обобщенных критериев качества  $I_q$  и  $I_r$ . В случае резкого снижения качества обслуживания пользователей компьютерной сети, например, в следствие ее перегрузки значение обобщенного критерия качества  $I_q$  приближается к единичному значению, которое характеризует начало процесса потери пакетов информации. Аналогично, начинается процесс потери пакетов информации в случае приближения обобщенного критерия качества  $I_r$  к единичному значению в следствие максимальных атакующих действий на информацию, циркулирующую в компьютерной сети. Поэтому можно сформировать единый обобщенный критерий качества  $J$ , характеризующий уровень потери информации в компьютерной сети в следствие снижения качества обслуживания пользователей в компьютерной сети и атакующих действий на информацию передаваемую в компьютерной сети. Единый обобщенный критерий  $J$  сформируем на основании выражений (3) – (8) как второй уровень иерархической многокритериальной свертки частных критериев качества по нелинейной схеме компромиссов [3]:

$$J = 1 - \left[ \frac{\alpha_1}{1 - I_q} + \frac{\alpha_2}{1 - I_r} \right]^{-1}, \quad \alpha_1 \geq 0, \quad \alpha_2 \geq 0, \quad \alpha_1 + \alpha_2 = 1, \quad (9)$$

где  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – весовые коэффициенты. Анализ выражения (9) с учетом выражений (3) – (8) показывает, что обобщенный критерий качества  $J$  является минимизируемым и изменяется в пределах:

$$0 \leq J \leq 1. \quad (10)$$

Двухуровневая иерархическая структура критериев качества (3) – (10) позволила сформировать единый обобщенный критерий качества  $J$ , характеризующий потери информации в компьютерной сети вследствие снижения качества обслуживания и атак на информацию в компьютерной сети.

Вернемся к рассмотрению математической модели компьютерной сети в виде графа, вершины которого моделируют узлы-источники и узлы-приемники информации, а направленные ветви моделируют каналы передачи информации между узлом-источником и узлом-приемником. Предлагается ветвям такого графа присваивать вес (длину) пропорциональную величине единого обобщенного критерия (9). Это позволяет реализовать двухуровневую иерархическую многокритериальную оптимизацию маршрутов передачи информации от узла-источника к узлу-приемнику путем минимизации длины маршрута:

$$\min_l L = \sum_{l=1}^{l=R} J_l, \quad (11)$$

где  $J_l$  –  $l$ -й обобщенный критерий качества (9) в  $l$ -й ветви графа,

$R$  – количество ветвей графа вдоль маршрута от узла-источника к узлу-приемнику,

$L$  – общая длина маршрута.

Задача минимизации выражения (11) известна как задача о кратчайшем пути между узлом-источником и узлом-приемником. Таким образом, двухуровневая иерархическая свертка критериев качества согласно (3) – (9) сводит задачу иерархической многокритериальной маршрутизации к известной задаче о кратчайшем пути, которая может быть решена алгоритмом Дейкстры либо параллельными средствами маршрутизации [4].

Метод иерархической многокритериальной маршрутизации может быть усовершенствован, если его сочетать с многопутевой маршрутизацией, которая позволяет найти несколько независимых параллельных маршрутов передачи информации с близкими оценками по выражению (9). В этом случае увеличивается надежность передачи данных и снижаются риски потери информации или ее модификации. Поэтому предлагается для повышения информационной безопасности перейти к решению задачи многопутевой маршрутизации по оценкам (9). В задаче многопутевой маршрутизации требуется найти несколько параллельных и независимых маршрутов передачи данных между узлом-источником и узлом-приемником информации, имеющие наименьшие характеристики длины маршрутов по оценкам (9). Известно, что время решения задачи о кратчайшем пути при однопутевой маршрутизации

алгоритмом Дейкстры растет пропорционально  $O(N^2)$ , где  $N$  – количество узлов компьютерной сети. В случае многопутевой маршрутизации время решения задачи маршрутизации увеличивается пропорционально количеству искомым путей. В сложных компьютерных сетях существует проблема реализации многопутевой маршрутизации из-за существенного увеличения времени маршрутизации, которое пропорционально оценке  $K O(N^2)$ , где  $K$  – количество искомым маршрутов. Решим эту проблему на основе параллельного алгоритма однопутевой маршрутизации и последовательного поиска альтернативных маршрутов в компьютерной сети. Параллельные алгоритмы однопутевой маршрутизации имеют оценку времени решения задачи о кратчайшем пути  $O(N)$  [4]. Последовательный поиск альтернативных маршрутов параллельными алгоритмами маршрутизации хотя и увеличивают время поиска  $K$  маршрутов в  $K$  раз, но сохраняет линейный характер зависимости времени маршрутизации  $K O(N)$  от сложности компьютерной сети, оцениваемой количеством узлов  $N$  компьютерной сети. Предлагается использовать для многопутевой многокритериальной маршрутизации параллельный алгоритм однопутевой маршрутизации, который основан на принципе системного аналогового моделирования. Согласно этому принципу математическая модель компьютерной сети в виде графа разбивается на систему фрагментов графа, каждый из которых содержит вершину графа совместно с несколькими ветвями, входящими в эту вершину [3]. Если соединение фрагментов графа соответствует топологии компьютерной сети, то такая система аналогов-фрагментов графа моделирует компьютерную сеть. На системе фрагментов графа можно задать начальную и конечную вершины, которые соответствуют узлу-источнику и узлу-приемнику компьютерной сети. Среди всевозможных путей между начальной и конечной вершинами графа, которые проходят через ветви каждого фрагмента графа может находиться элемент кратчайшего пути. Необходимым условием принадлежности ветви фрагмента графа кратчайшему пути является минимизация длины всех маршрутов, которые входят в вершину фрагмента графа. Поэтому во всех фрагментах графа необходимо выделять из всех маршрутов, которые приходят в вершины фрагментов графа, маршруты минимальной длины. Параллельный алгоритм однопутевой маршрутизации основан на параллельном выделении в вершинах каждого фрагмента графа маршрутов минимальной длины после увеличения характеристики длины маршрутов на величину весов (длины) ветвей фрагмента графа и в выдаче согласно топологии соединения фрагментов графа новой характеристики длины кратчайшего пути. Как показано в работе [4] параллельное выполнение таких операций во всех вершинах графа за  $R$  шагов устанавливает во всех вершинах графа стационарные значения длин кратчайших маршрутов из начальной вершины графа во все вершины фрагментов графа, где  $R$  – количество вершин вдоль кратчайшего маршрута с максимальным количеством ветвей. Таким образом, параллельный алгоритм осуществляет построение дерева кратчайших путей из узла-источника во все остальные узлы-приемники графа компьютерной сети.

Сочетание параллельного алгоритма однопутевой иерархической многокритериальной маршрутизации [4] совместно с последовательным способом многопутевой маршрутизации дают оценку времени решения задачи многопутевой многокритериальной маршрутизации  $K O(N)$ , где  $K$  – количество параллельных маршрутов,  $N$  – количество узлов компьютерной сети.

## **Выводы**

Методы многопутевой и двухуровневой иерархической многокритериальной маршрутизации имеют линейную зависимость времени маршрутизации от количества альтернативных маршрутов и сложности компьютерной сети. Предложенный метод имеет два уровня повышения информационной безопасности пользователей компьютерной сети. Первый уровень обеспечивается путем двухуровневой иерархической многокритериальной маршрутизации учитывающей требования к качеству обслуживания и риски потери информации или ее модификации. Второй уровень повышения информационной безопасности обеспечивается многопутевой маршрутизацией по нескольким параллельным и независимым каналам передачи информации в компьютерной сети.

### Список литературы

1. Мартынова О.П. Применение многокритериальной маршрутизации для повышения информационной безопасности компьютерных сетей / О.П. Мартынова, А.А. Засядько, В.Л. Баранов // Проблеми інформатизації та управління: зб.наук.пр. – 2007. – Вип. 3(21). – С. 109-113.
2. Воронин А.Н. Многокритериальный синтез динамических систем / Воронин А.Н.– К.:Наук. думка, 1992. – 160 с.
3. Воронин А.Н. Декомпозиция и композиция свойств альтернатив в многокритериальных задачах принятия решений / А.Н. Воронин // Кибернетика и системный анализ. – 2009. – №1. – С. 117-122.
4. Мартынова О.П. Параллельный алгоритм маршрутизации на графах и сетях / О.П. Мартынова // Проблеми інформатизації та управління: зб. наук. пр. – 2005. – Вип. 12. – С. 113-119.

*Рецензент: Хорошко В.О.  
Надійшла 17.06.2010*